

Asignación de roles automática en organizaciones virtuales de agentes

Gabriel Villarrubia¹, Javier Bajo², Juan F. De Paz¹, Carolina Zato¹, Juan M. Corchado¹

¹Departamento de Informática y Automática, Universidad de Salamanca
Plaza de la Merced, s/n, 37008, Salamanca, España
{gvg, fcofds, carol_zato, corchado}@usal.es

²Departamento de Inteligencia Artificial, Universidad Politécnica de Madrid
Campus Montegancedo, Boadilla del Monte, Madrid
ffds

Resumen. La asignación de roles en organización de agentes es un proceso que requiere del reparto de tareas en los agentes que hay disponibles en las organizaciones. En determinadas ocasiones el número de roles es muy elevado por lo que resulta complejo realizar la asignación aplicando tecnologías de acuerdo y más aún en situaciones iniciales en los que no hay una distribución de agentes. En este trabajo se propone un sistema que permite realizar un reparto de roles entre agentes de una organización virtual aplicando programación lineal entera de modo que se cumplan determinadas restricciones en la organización y se maximicen determinados objetivos. El sistema se ha incluido en la plataforma de agentes PANGEA para realizar el reparto automático de roles entre los agentes.

Palabras clave: organizaciones virtuales, programación lineal, distribución de roles.

1 Introducción

Actualmente, la inclusión de aspectos organizativos está ganando terreno dentro de la investigación en los sistemas multi-agentes. La evolución de los sistemas multi-agentes a las organizaciones virtuales de agentes pretende introducir los conceptos derivados de la organización social, como son, roles, grupos y normas. Uno de los primeros intentos para incluir organizaciones en sistemas multi-agentes (MAS) se puede ver en este trabajo [5]. En el trabajo MACE (Multi-Agent Computing Environment) se introduce el concepto de rol en los MAS (Multi-Agent Systems) [6]. Más trabajos sobre el uso del concepto de organización se pueden ver en [7] y [8] pero en estos trabajos no se gestiona como diseñar las organizaciones. Una excepción se puede encontrar en [9] que describe los MAS en términos de organizaciones.

Una vez asentado el concepto de organización y rol, el siguiente reto es la organización en sí de dichas estructuras y una posibilidad es la utilización de sistemas mul-

ti-agente. El concepto de agente ha evolucionado desde una entidad autónoma a una entidad colaborativa que forma parte de una sociedad, grupo u organización. De esta manera, la interacción, coordinación y adaptación son puntos clave de una sociedad de agentes y estrechamente relacionados con la organización y reorganización que puede llegar a determinar comportamientos y por supuesto, canales de comunicación.

Las organizaciones de agentes se pueden realizar agrupando agentes que tienen intereses comunes para la realización de una determinada tarea. Al igual que en los MAS los agentes colaboran para la realización un determinado objetivo global [5] desempeñando una serie de roles. Los roles se deben de asignar en función de las capacidades de los agentes debido a que estos sistemas deben de ser capaces de adaptarse a entornos reales altamente dinámicos. Los agentes pueden cambiar de organización y en función de la organización en la que se encuentran se les asignan unos determinados roles [10]. El cambio de organización de los agente conlleva una reorganización y/o reestructuración y puesto que el paradigma de las organizaciones virtuales se basa en las sociedades de humanos, es lógico pensar que éstas también deben llevar a cabo reorganizaciones de forma eficiente. El problema reside en el cuándo y el cómo. Una alta dinamicidad conlleva una alta necesidad reorganización y encontrar una manera efectiva y formal de ordenar las sociedades de forma. En trabajos anteriores se han realizado estudios sobre diferentes alternativas para la distribución de roles [19] en agentes. No obstante, en estos trabajos la problemática no era abordable para la obtención de soluciones óptimas y eficientes en entornos altamente dinámicos.

En este trabajo se propone un modelo de distribución de roles entre los agentes de una organización para minimizar un determinado parámetro. El modelo se basa en programación lineal para búsqueda de la solución óptima de modo que se garantiza que la solución dada es la mejor en caso de que exista. El sistema se ha integrado en la arquitectura PANGAEA [17] del grupo de investigación BISITE permitiendo hacer una distribución de roles entre los agentes disponibles según un modelo de organización, restricciones, capacidades y costes de los agentes. El sistema se ha validado en un caso de estudio para comprobar el correcto funcionamiento de la propuesta.

Este artículo se divide como sigue: la sección 2 describe el estado del arte, la sección 3 presenta el modelo propuesto, y la sección 4 describe los resultados y las conclusiones obtenidos.

2 Revisión del estado del arte

Los mecanismos más comunes aplicados en los sistemas adaptativos se basan en el balanceo de carga [13] [14] o asignación dinámica de tareas [11] [12]. En el caso de la asignación dinámica de tareas, se modifica la estructura global del sistema aunque se mantienen los mismos agentes a lo largo del tiempo [1]. Una aproximación diferente es la participación dinámica cuando las interacciones entre los agentes son modeladas como roles [2] [3] [4]. Además de controlar el cambio de roles y la asignación de roles de los agentes, también es necesario crear los procesos necesarios para controlar las interacciones entre los agentes que poseen los diferentes roles.

Otro aspecto de interés es el punto de partida en la generación de una organización. Para crear una organización es necesario crear un reparto de roles entre los agentes disponibles. Existen diferentes topologías de organización, que determinan cómo se ordenarán y comunicarán los agentes, entre ellas [16]:

- Jerarquías: los agentes se ordenan en una estructura de tipo árbol en la que los niveles inferiores tienen la funcionalidad básica y los niveles superiores la toma de decisiones y el control.
- Holarquías: son estructuras anidadas y jerárquicas de holones [15]. Un holón es una parte de entidad mayor resultado de la agrupación de entidades subordinadas. Este tipo de topología suele aplicarse en dominios donde los objetivos se descompongan de forma recursiva en subtareas.
- Coaliciones: son agrupaciones temporales de agentes para la consecución de un objetivo concreto, que suele obtener ciertos beneficios y reducir costes. Las coaliciones se disuelven al alcanzar el objetivo, al no existir ya la necesidad de agrupación o cuando una cantidad crítica de agentes abandona la agrupación. Internamente suele representarse como una estructura plana o con líder (representante grupo) y externamente como una entidad única y atómica.
- Grupos: son agrupaciones de agentes cooperativos que trabajan juntos en la consecución de un objetivo común. De esta manera, maximizan la utilidad del equipo. La representación de objetivos, creencias y planes se lleva a nivel de equipo. Los grupos suelen aplicarse cuando resolver problemas planteados puede conseguirse de una mejor manera de forma conjunta. Los grupos implican una mayor redundancia y flexibilidad para entornos inciertos, aunque también un aumento en las comunicaciones (por la coordinación).
- Congregaciones: son agrupaciones de agentes con características similares o complementarias. En este caso, no conllevan consecución de un objetivo específico pero sí facilitan la búsqueda de colaboradores adecuados para lograr alcanzar ese objetivo. Por este motivo, este tipo de topología suele ser pensada para objetivos a largo plazo.
- Federaciones: son agrupaciones de agentes con un representante. Los miembros del resto de la organización interaccionan solo con el representante, ceden parte de su autonomía. Este agente "representante" actúa también de intermediario entre el grupo y el mundo exterior, haciendo funciones de: (i) Broker: distribuye tareas entre miembros del grupo; (ii) Mediador: facilita interacciones entre diferentes agentes (establece contactos); (iii) Monitor: controla estados de los agentes, informa sobre eventos; (iv) Embassy: controla la comunicación de agentes externos con los de la federación (traductor de ontologías).
- Organizaciones matriciales: en este tipo de topología de organización, un agente puede ser controlado por más de un agente supervisor. Por este motivo, es necesario la utilización de mecanismos de evaluación de compromisos y resolución de conflictos locales. Es como una estructura de tipo grid en la que los agentes Managers se sitúan alrededor de agentes.

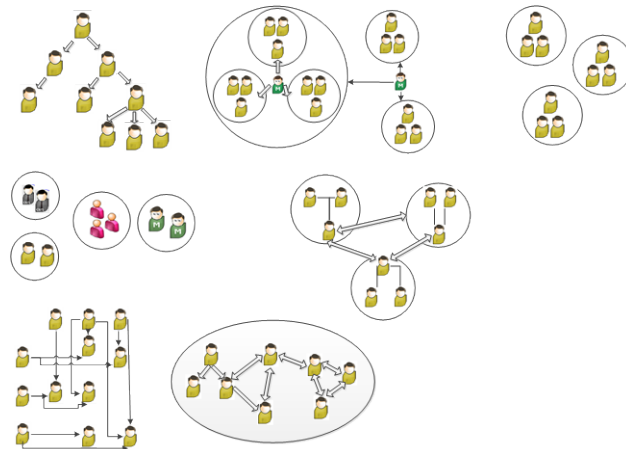


Fig. 1. De izquierda a derecha, jerarquía, holigarquía, coalición, congregación, federación, organización matricial y grupo.

3 Sistema de razonamiento propuesto

El mecanismo de razonamiento desarrollado se ha integrado en la arquitectura PANGEA [17]. Se ha incluido como un comportamiento dentro del agente que posee el rol OrganizationAgent. PANGEA es una plataforma de agentes para el desarrollo de sistemas multi-agente abiertos, especialmente aquellos que incluyen aspectos organizativos. La plataforma permite la integración de las organizaciones y ofrece herramientas para los usuarios finales. PANGEA incluye un protocolo de comunicación basado en IRC (Internet Relay Chat), el cual facilita la estabilidad del sistema.

PANGEA proporciona diferentes roles que son asignados a los agentes para asegurar el correcto funcionamiento. A continuación se indican sólo los roles asociados con el mecanismo de organización de los agentes, el resto de los roles se puede ver en el trabajo [17].

- **OrganizationManager:** es el responsable del manejo de las organizaciones y las suborganizaciones. Es el responsable de controlar la entrada y salida de agentes y la asignación de roles en colaboración con el OrganizationAgent que es una especialización de este agente.

3.1 OrganizationAgent

El proceso de creación de una organización virtual y la distribución de roles entre los agentes es un proceso habitualmente complicado que se puede afrontar de modo centralizado o bien distribuido. El proceso es más complicado aun cuando no se parte de una organización ya creada y se quiere hacer una distribución inicial de los diferentes roles entre los agentes.

Para llevar a cabo el proceso de distribución de roles entre los agentes se puede recurrir a teoría de acuerdo y dejar que los agentes dialoguen entre ellos para realizar un reparto de roles. Este proceso es factible cuando la organización creada requiere

de modificaciones pero para establecer una distribución inicial o en el caso de una reorganización profunda requeriría del intercambio de un elevado número de mensajes por lo que en este trabajo se recurre a programación lineal entera (PLE) para crear el reparto inicial de roles o en los casos en los que haya una variación importante en el número de agentes o roles.

Para cada una de los tipos de organizaciones se tiene un modelo de representar la información diferente, en la figura 2 se tiene un ejemplo de la representación jerárquica.

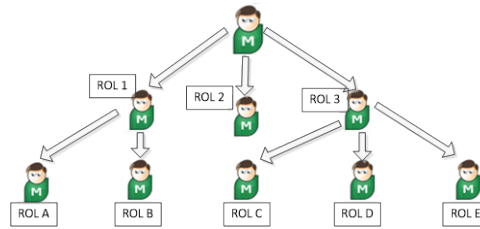


Fig. 2. Representación gráfica de la organización

Además de la información asociada a la estructura jerárquica buscada se establece información asociada a los diferentes agentes en función de las habilidades de cada uno de ellos para el desempeño de un determinado rol. En función de estas características y una serie de restricciones empezaría el funcionamiento de la programación lineal para ir asociando agentes con roles. La información almacenada por cada agente varía según el caso de estudio que se esté analizando, un ejemplo de restricciones asociada a la figura 2 mostrada anteriormente se puede ver en la tupla mostrada en (1). Por cada rol r_i , se incluye la información de la carga l_i en la jornada que provoca la ejecución por el agente. Además, se incluye información sobre el coste de la jornada laboral c , L la carga máxima en la jornada laboral y finalmente el número máximo de roles que puede realizar R .

$$a = \langle (r_1, l_1), \dots, (r_n, l_n), c, L, R \rangle \quad (1)$$

Una vez se disponga de la información de la estructura y la información sobre las restricciones de los roles ya se puede plantear el problema a maximizar o minimizar. En este caso se va a crear un problema de minimización en función de los costes de cada agente. En la siguiente sección se formula el problema de programación lineal entera que permite resolver estos tipos de problemas de asignación.

3.1.1 Problema de optimización

Para explicar de modo más sencillo el problema de asignación es necesario crear una red que recoja la información sobre el problema de asignación con la información de las habilidades y cargas máximas de los agentes. A partir de la información representada en el grafo se puede plantear de modo más sencillo el problema de minimización. En la figura 3, se tiene el grafo que recoge la información asociada a unas restricciones según lo indicado en (1). Los roles vienen definidos por los nodos del grafo con el nombre r_i donde i representa el número del rol. Los agentes vienen

definidos por a_i , i representa el identificador del agente. Los nodos 0 y f se han introducido para establecer un origen y un fin. Los valores v_{if} existente en los arcos que une al agente i con el nodo final f y representa el coste por jornada del agente. El valor c_{ij} representa la carga que ejerce el rol i sobre el agente j . El valor (l_i) indica el límite de carga del agente i .

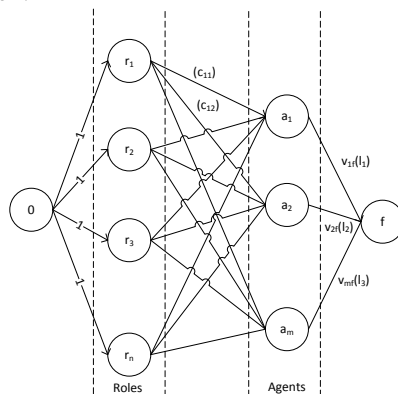


Fig. 3. Representación de las capacidades y restricciones de la información en el proceso de asignación de roles teniendo en cuenta un coste por bloques.

Para resolver el problema de PLE se aplica el algoritmo de Branch & Bound que usa el simplex [18] de modo iterativo para resolver el problema.

4 Resultado y conclusiones

El sistema se ha aplicado en un caso de estudio previo para realizar un reparto de tareas entre personal de una residencia geriátrica. El personal necesario para una jornada laboral está formado por las siguientes figuras laborales (roles): 3 celadores, 15 enfermeros, 3 responsables de planta, 15 cuidadores y 1 gerente. Se tienen en total 50 personas (agentes) disponibles para la realización de la jornada. Cada uno de los miembros del personal puede realizar determinadas tareas en base a los roles indicados. En la tabla 1 se recoge la información que relaciona los roles y los agentes y que permite determinar realizar la asignación de roles. Por simplificar la tabla sólo se ha tomado uno de los roles de cada uno de los tipos y sólo se han representado 5 agentes aunque debería de incluirse todo el personal disponible. La información viene representada según (1). El número máximo de roles no se ha limitado para ninguno de los agentes ya que se ha limitado de manera indirecta por la carga máxima. La información de la tabla 1 se representa de la siguiente manera: coste de la jornada laboral del agente | tiempo necesario que el agente emplea para realizar el rol correspondiente | tiempo de la jornada laboral | número máximo de roles a asignar al agente. El coste es un coste por jornada laboral lo que supone que si dentro de una jornada laboral el agente puede realizar dos roles el coste será el mismo que si sólo realiza uno. Según se puede ver en la tabla 1, a cada uno de los agentes, un rol le puede suponer una

carga de trabajo diferente aunque suponga las mismas tareas. Este tiempo se estima en función de la experiencia del personal en la realización de dichas tareas.

Tabla 1. Tabla de índices de los diferentes agentes para cada uno de los roles. La información de cada celda viene dada de la siguiente manera coste jornada (v_{ij}) | hora de carga del rol (c_{ij}) | carga máxima del agente l_j | número máximo de roles.

	Agente1	Agente2	Agente3	Agente4	Agente5	...
Celador1	80 8 8 ∞					...
Enfermero1		120 6 8 ∞	110 7 8 ∞			...
Responsable1		120 2 8 ∞	110 3 8 ∞		150 2 8 ∞	...
Cuidadora1		120 6 8 ∞	110 6 8 ∞	100 6 8 ∞		...
Gerente1					150 2 8 ∞	...
...

A partir de la información existente en la tabla anterior el problema de optimización quedaría formulado de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 & \text{Min } 80x_{1f} + 120x_{2f} + 110x_{3f} + 100x_{4f} + 150x_{5f} \\
 & \text{st} \\
 & 8x_{11} \leq 8 \\
 & x_{1f} - x_{11} \geq 0 \\
 & 6x_{22} + 2x_{32} + 6x_{42} \leq 8 \\
 & x_{2f} - x_{22} \geq 0 \\
 & x_{2f} - x_{32} \geq 0 \\
 & x_{2f} - x_{42} \geq 0 \\
 & 7x_{23} + 3x_{33} + 6x_{43} \leq 8 \\
 & x_{3f} - x_{23} \geq 0 \\
 & x_{3f} - x_{33} \geq 0 \\
 & x_{3f} - x_{43} \geq 0 \\
 & 6x_{44} \leq 8 \\
 & x_{4f} - x_{44} \geq 0 \\
 & 2x_{35} + 2x_{55} \leq 8 \\
 & x_{5f} - x_{35} \geq 0 \\
 & x_{5f} - x_{55} \geq 0 \\
 & x_{11} \geq 1 \\
 & x_{22} + x_{23} \geq 1 \\
 & x_{32} + x_{33} + x_{35} \geq 1 \\
 & x_{42} + x_{43} + x_{44} \geq 1 \\
 & x_{55} \geq 1 \\
 & x_{11} + x_{22} + x_{32} + x_{42} + x_{23} + x_{33} + x_{43} + x_{44} + x_{35} + x_{55} = 5 \\
 & x_{ij} \text{ integer number}
 \end{aligned}$$

La variable x_{ij} cuando i y j son enteros representa un conexión entre el rol i y el agente j . x_{if} representa una conexión entre el agente i y el nodo final de la red. La variable x_{ij} según las restricciones impuestas va a valer 1 ó 0, la i representa rol y la j

agente. En los casos que aparece x_{if} , f se refiere al nodo final de la red y la i en este caso sería agente.

De manera genérica el problema de asignación se define de la siguiente manera. La primera de las restricciones implica que no se supere la carga máxima de cada uno de los agentes, la segunda es sólo una restricción para que no se asignen tareas a agentes que no van a sumar en la ecuación de optimización, por ejemplo $x_{2f} - x_{32} \geq 0$. La tercera implica que todo rol lo realice al menos un agente y la última que el rol es asignado al menos a un agente, por ejemplo si el role 3 se asigna al agente 2 entonces $x_{32}=1$ y entonces $x_{2f}=1$.

$$\begin{aligned}
 & \text{Min } \sum_i v_{if} x_{if} \\
 & \text{st} \\
 & \forall j \quad \sum_i c_{ij} x_{ij} \leq l_j \\
 & \forall i, j \quad x_{jf} - x_{ij} \geq 0 \\
 & \forall i \quad \sum_j b_{ij} x_{ij} \geq 1 \\
 & \sum_{i,j} b_{ij} x_{ij} = n \\
 & 0 \leq x_{ij} \leq 1
 \end{aligned}$$

Para los valores que no exista arco desde el rol i al agente j $c_{ij}=0$ y $b_{ij}=0$, para los que exista arco el valor de c es la carga y el de $b_{ij}=1$, n es el número de roles.

La asignación de los roles tareas quedaría definida por los valores de las variables x_{ij} , si dicho valor es 1 indica que el agente tiene asignado el rol y si es 0 indica que el rol no está asignado al agente. Para el ejemplo mostrado en la tabla 1, el resultado sería el siguiente: el agente 1 realiza el rol celador, el agente 2 no tiene roles asignados, agente 3 el rol enfermero, agente 4 rol cuidador, agente 5 roles responsable y gerente, el coste sería de 440€

Para realizar una comparativa del funcionamiento del sistema se procedió a comparar el funcionamiento del sistema realizando una distribución manual, una optimización basada en algoritmos genéticos y aplicando el algoritmo propuesto. Se realizó una comparativa del coste total y del personal requerido según cada una de las opciones en función de los datos de los 50 trabajadores y 37 roles del caso de estudio. Se realizó la misma prueba manteniendo las figuras laborales indicadas al inicio de la sección pero modificando las restricciones de los agentes para disponer de varias iteraciones. Los resultados obtenidos para cada iteración se pueden ver en la figura 4. Tal y como se puede ver, la reducción de costes aplicando el sistema es significativa y en todo caso el coste es menor o igual que aplicando el resto de los sistemas.

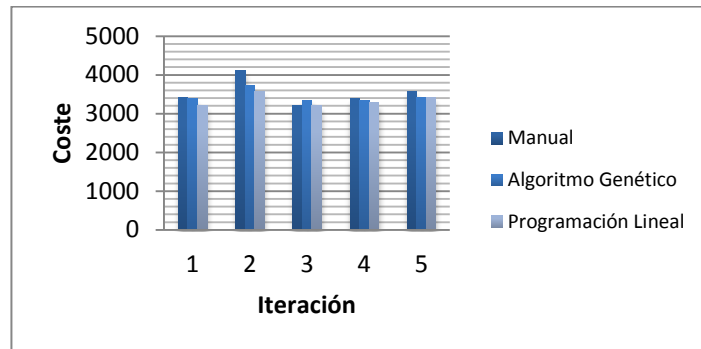


Fig. 4. Coste obtenido

El sistema de organización planteado en el agente OrganizationAgent de la arquitectura PANGAEA permite reducir los costes y simplificar el proceso de distribución de roles de una organización de modo eficiente. En caso de que no fueran lineales las restricciones habría que recurrir a alguna heurística para resolver el problema. Como trabajos futuros se analizarán nuevos modelos de organización y restricciones para incorporar al agente OrganizationAgent de la arquitectura PANGAEA.

Agradecimientos. Este trabajo ha sido soportado por el ministerio de economía y competitividad (INNPACTO) IPT-2011-0726-430000.

5 Referencias

1. Y, So., Durfee E.: An organizational self-design model for organizational change (1993),
2. Dignum, V.: A Model for Organizational Interaction: based on Agents, founded in Logic, SIKS Dissertation Series, Utrecht University PhD Thesis (2004).
3. Glaser, N., Morignot P.: The reorganization of societies of autonomous agents, in MAAMAW, 98–111 (1997).
4. Tambe M.: Towards flexible teamwork, Journal of Artificial Intelligence Research, (7) 83–124 (1997).
5. Glaser, N. Morignot, P.: The reorganization of societies of autonomous agents. Multi-Agent Rationality, Lecture Notes in Computer Science Volume (1237) 98–111 (1997).
6. Gasser, L., Braganza, C., Herman N.: Make a flexible testbed for distributed AI research. In Huhns, M. N., editor, Distributed Artificial Intelligence, 119–152 (1987).
7. Fox, M.: An organizational view of distributed systems. IEEE Trans. on Man, Systems and Cybernetics, 11(1) 70–80 (1981).
8. Prasad M. V. N., Decker, K., Garvey, A., Lesser, V.: Exploring organizational designs with TAEMS: A case study of distributed data processing. In M. Tokoro, editor, Proc. of Second International Conference on Multi-Agent Systems, 283–290 (1996).
9. Collinot, A., Drogoul, A.: Agent oriented design for a soccer robot team. In M. T. Kyoto, editor, Proc. of Second International Conference on Multi-Agent Systems, AAAI Press, 41–47 (1996).
10. Dignum, V., Dignum, F. and Sonenberg, L.: Towards dynamic reorganization of agent societies. In Proceedings of Workshop on Coordination in Emergent Agent Societies, 22–27 (2004).
11. Kivelevitch, E., Cohen, K., Kumar, M.: Market-Based Solution to the Allocation of Tasks

- to Agents, *Procedia Computer Science*, (6) 28-33 (2011).
12. Palmer, D., Kirschenbaum, M., Murton, J., Zajac, K., Kovacina, M., Vaidyanathan, R.: "Decentralized cooperative auction for multiple agent task allocation using synchronized random number generators," *Intelligent Robots and Systems, (IROS 2003). Proceedings. 2003 IEEE/RSJ International C* (2003).
 13. Montresor, A., Meling, H., Babaoğlu, Ö.: Messor Load-Balancing through a Swarm of Autonomous Agents. *Agents and Peer-to-Peer Computing. Lecture Notes in Computer Science Volume (2530)* 125-137 (2003).
 14. Young J.L., Geon Y.P., Ho K.S., Hee Y.Y.: "A Load Balancing Scheme for Distributed Simulation Based on Multi-agent System," *Computer Software and Applications Conference Workshops (COMPSACW), 2012 IEEE 36th Annual* , 613-618 (2012).
 15. Mazigh, B., Hilaire, V., Koukam, A.: Formal Specification of Holonic Multi-agent Systems: Application to Distributed Maintenance Company. In: *Proceeding of 9th International Conference on Practical Applications of Agents and Multiagent Systems* (2011).
 16. Rodríguez, S.: *Modelo adaptativo para organizaciones virtuales de agentes*. University of Salamanca, Department of Computer Science and Automation, PhD Thesis (2010).
 17. Zato, C., Villarrubia, G., Sánchez, A., Bajo, J., Rodríguez, S., Corchado, J.M.: PANGAEA – Platform for Automatic coNstruction of orGanizations of intElligent Agents. *Distributed Computing and Artificial Intelligence. Advances in Intelligent and Soft Computing* (151), 229-239 (2012).
 18. Zheng, Y., Lin, M.C., Manocha, D.: Efficient simplex computation for fixture layout design. *Computer-Aided Design*. 43 (10) 1307–1318 (2011).
 19. Zato, C., De Paz, J.F., de Luis, A., Bajo, J., Corchado, J.M.: Model for assigning roles automatically in egovernment virtual organizations, *Expert Systems with Applications*. 39 (12) 10389-10401 (2012).